

激しいキャビテーション壊食の寸法効果に関する流体力学的研究

著者	祖山 均
号	1287
発行年	1990
URL	http://hdl.handle.net/10097/6560

氏 名	祖 山 均
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 3 年 3 月 28 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学専攻
学 位 論 文 題 目	激しいキャビテーション壊食の寸法効果に関する 流体力学的研究
指 導 教 官	東北大学教授 大場利三郎
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 大場利三郎 東北大学教授 嶋 章 東北大学教授 大宮司久明 東北大学助教授 井小萩利明

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

流体機械の大形・高速化に際して、キャビテーション壊食が機械の寸法の n べき乗で急増するという n 乗則が大きな障壁となっている。既存の研究によると、べき指数の値は大きくばらつき、現在用いられている壊食の予測法においては、予測値と実際の壊食値の間にはしばしば100倍程度の大差が生じ、壊食定量的予測法とはとうてい言えない。よって、本論文では、壊食率が通常の壊食率より10～100倍大きく、かつ、壊食が腐食に比較して支配的役割を果たす壊食、すなわち、「激しい壊食」に注目する。その際、流体機械に発生するキャビテーションは多元的に構成され、かつ、キャビテーションの初生・発達の様相はキャビテーションのタイプによって必然的に異なるから、このタイプを十分考慮して、激しい壊食の寸法効果に関する流体力学的解明を行う。

第 2 章 壊食に対する寸法効果

壊食に対する寸法効果を単純な二次元状態において調べるために、キャビテーション・アタックの大きさおよび数の分布の測定の観点から、二次元平板状翼形の表面に貼り付けたアルミニウム薄板上に発生した壊食ピットを取り上げ、弦長が53mmから160mmまでの4枚の相似翼形について、キャビテーションの挙動との関連のもとに壊食ピットの分布を調べる。その結果、層流から乱流への遷移領域に認められる Ω 渦によく似た渦キャビテーション (図 1, 2 参照) の発達・崩壊領域において壊食ピットが発生すること、また、壊食ピットの最大直径が弦長に比例して増大すること、およ

び、壊食ピット発生率の局所的最大値が弦長の1.5乗に比例することから、機械寿命を支配する壊食エネルギーの極大値に対する寸法差の影響は n 乗則で表すと、 $n \approx 4.5$ となることを示す。

第3章 キャビテーション衝撃圧に対する寸法効果

前章と同じ翼形において、壊食ピットの発生に係わる衝撃圧分布を感圧紙法により測定した結果、衝撃圧の発生パターンは、渦キャビテーションによる比較的少数の局所の高衝撃パルスが支配するパターンと、付着キャビテーションによる多数の、しかし、それほど大きくない衝撃パルスが広範囲に生じるパターンの二種類あることを示し（図3参照）、平均衝撃圧 \bar{P}_{sc} に対する寸法効果は少なく、 n 乗則の n は $0 < n \ll 1$ である（図4参照）ことを明示する。

第4章 キャビテーションノイズに対する寸法効果

音響エネルギーは壊食エネルギーに比べればほんのわずかであるが、ノイズを受信することにより壊食の発達状態を推定できるとされているので、ノイズに対する寸法則を、第2章、第3章と同じ翼形において検討した。そして、キャビテーションのタイプによりべき指数 n の値に大差があり、渦キャビテーションの場合には $n = 6$ 、気泡キャビテーションの場合では $n = 1$ であることを示す（図5参照）。

第5章 渦キャビテーションの非定常的挙動

高壊食性渦キャビテーションは、サブキャビテーション領域からスーパキャビテーション領域へ移行する遷移領域において顕著になるキャビティブレイクダウンに深く関わっている。よって、その非定常的挙動を種々の翼形について調べ、キャビティブレイクダウンは、翼形背面に発生した付着キャビテーションの周期的破断現象であること、および、小寸法では発生が不明瞭になる（図6参照）ことなどを明らかにする。

第6章 渦キャビテーションによる壊食の発達過程

実際の流体機械に発生する激しい壊食の発生・発達機構を解明するために、比速度 $N_s = 150$ [$m, m/min, rpm$]の遠心ポンプを取り上げ、壊食の発達過程を調べた。そして、同一運転条件かつ同一羽根車においても、壊食率に著しい大差が存在し（図7参照）、その原因は、激しい壊食は非定常性の強い渦キャビテーション（図8参照）によること、および、この渦キャビテーションの発生頻度および大きさが上流キャビテータによって大幅に変化し、結果的に壊食率に著しい大差をもたらすことなどを明らかにする。

第7章 渦キャビテーションによる壊食面のSEM観察

壊食の発達過程における支配的なキャビテーション・アタック、および、材料へのキャビテーション・アタックのマイクروسケールの機構を解明するために、前章の壊食の発達過程をSEM観察した。その結果、激しい壊食の発達には、塑性変形ピット（図9参照）が支配的な役割を果たしてい

ることを示す。

第8章 渦キャビテーションの発生に伴うノイズ、振動および衝撃圧

実機における壊食の発達過程の予測検知の観点から、第6、7章と同じ遠心ポンプを取り上げ、ノイズ、振動加速度およびキャビテーション衝撃圧をキャビテーションの挙動との関連において調べ、これらによる激しい壊食の発生はノイズ、振動加速度の検出により可能であることを示す（図10、11参照）。

第9章 結 論

激しいキャビテーション壊食に対する寸法効果について以下の結果を得た。渦キャビテーションは大寸法においては発生頻度および大きさが増大し、壊食・ノイズ等において寸法の n べき乗則の n の値は大きくなる傾向にある。一方、付着キャビテーションや気泡キャビテーションにおいては、寸法が変わってもキャビテーションの様相は変わらず、キャビテーション衝撃圧の大きさも寸法によってほとんど変化しないので、べき指数 n の値は小さい。また、実際の流体機械に致命的損傷を与える激しい壊食は、上流キャビテータに敏感で、かつ、アルミニウム表面上に塑性変形ピットを形成するような渦キャビテーションが支配的であり、この渦キャビテーションは寸法差の影響が大きい渦キャビテーションと同タイプである。

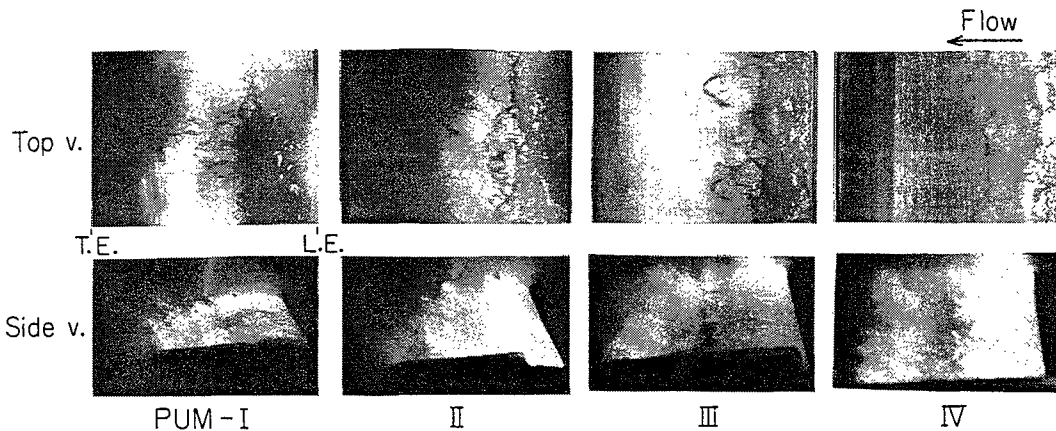


図1 種々の弦長の翼形に発生するキャビテーションの様相
(図中のL.E., T.E.は翼形の前縁と後縁を示す)

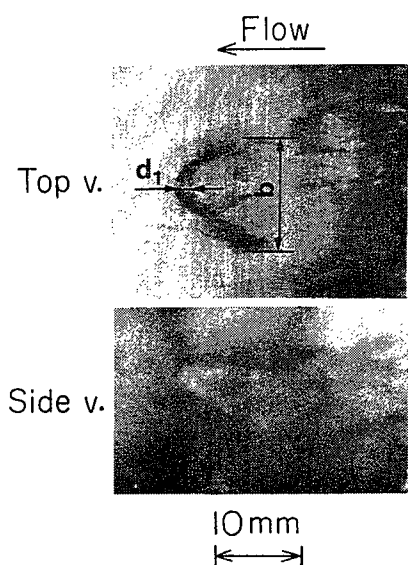


図2 壊食性渦キャビテーションの様相

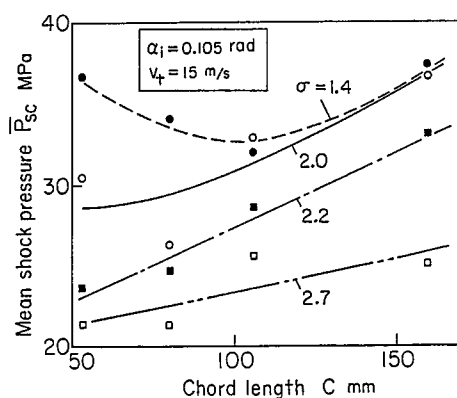


図4 平均キャビテーション
衝撃圧と弦長の関係

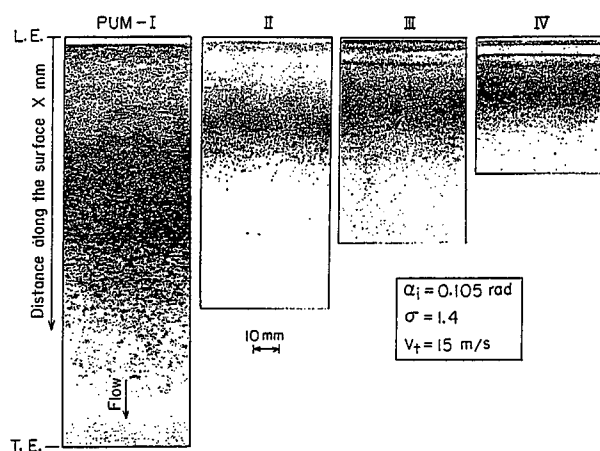


図3 感圧紙面上のキャビテーション衝撃圧模様

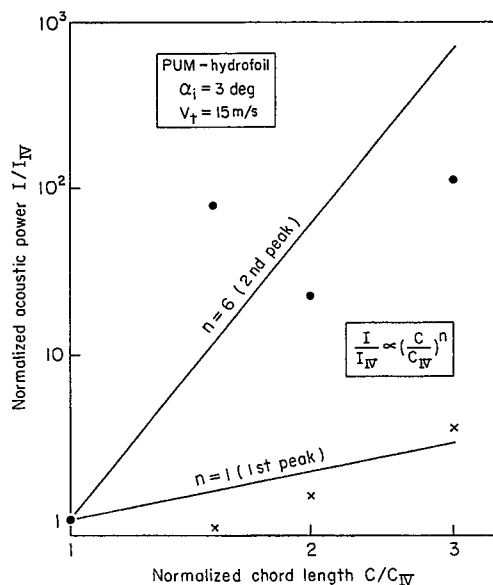


図5 音響パワーと弦長の関係

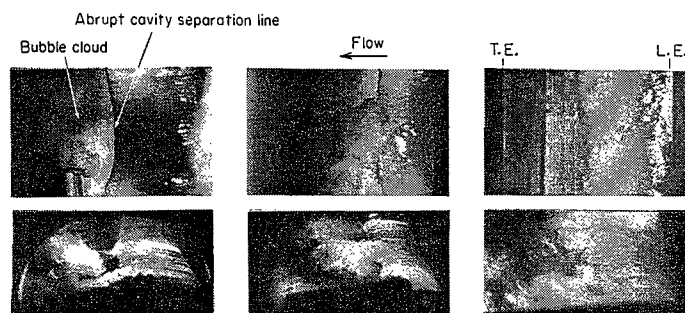


図6 キャビティブレイクダウンに認める寸法効果

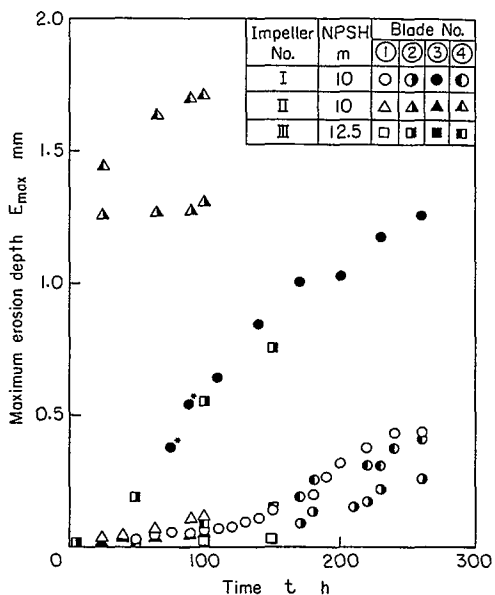


図7 最大壊食深さの経時変化

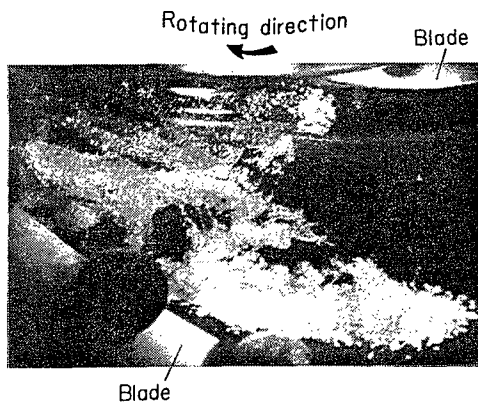


図8 キャビテーションの様相

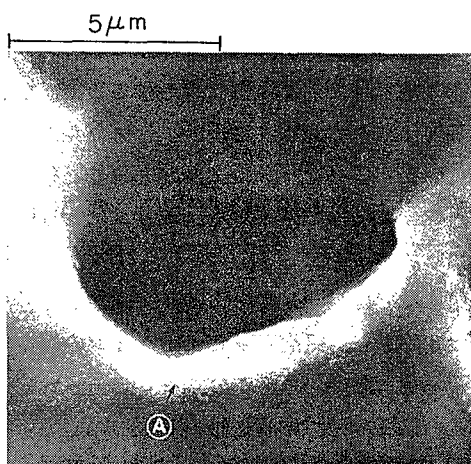


図9 塑性変形ピット

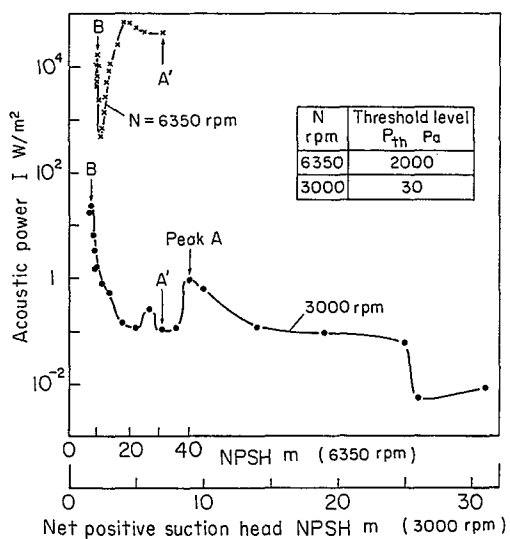


図10 音響パワーとNPSHの関係

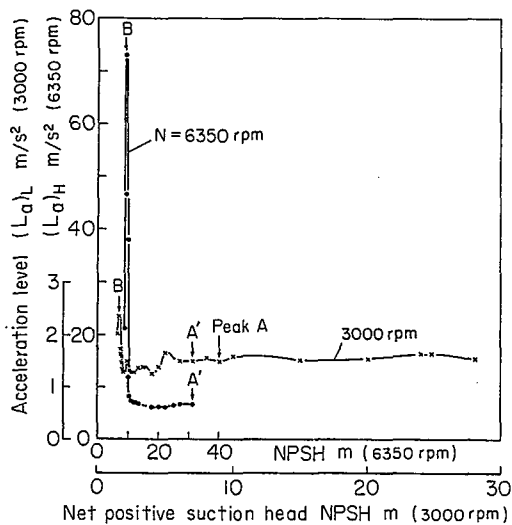


図11 振動加速度レベルとNPSHの関係

審 査 結 果 の 要 旨

流体機械の大形・高速化の実現に際して、キャビテーション壊食が寸法の n 乗に比例して急増するという n 乗則が大きな障壁となっている。既存研究によると、べき指数 n の値は大きくばらつき、また、壊食率の予測値と実測値の間にはしばしば100倍程度の大差が認められるので、機械寿命の予測法はいまだ確立されていないと言える。本論文は、壊食の予測法の確立を目的として、壊食が腐食より支配的であり、かつ、壊食率が通常の10倍から100倍の激しい壊食の寸法効果に関する流体力学的研究であり、全編9章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、壊食の寸法効果を、弦長が53mmから160mmまでの四つの二次元相似翼形に貼り付けたアルミニウム薄板上に発生した壊食ピットの頻度分布を、キャビテーションの挙動との関連において調べ、壊食エネルギーの寸法差の影響を n 乗則で表すと、 $n \approx 4.5$ であることを示す。

第3章では、前章と同じ翼形において、壊食に係わる衝撃圧分布を感圧紙法により測定し、衝撃圧の発生パターンは、局所的高衝撃パルスを少数生じるパターンとそれ程大きくない衝撃圧が広範囲に分布するパターンの2種があることを示し、前者は渦キャビテーションに、後者は付着キャビテーションに係わっており、壊食ピットは局所的高衝撃パルスによるものであることを明らかにしている。

第4章では、同じ翼形のノイズに対する寸法の n 乗則を検討し、渦キャビテーションの場合には $n = 6$ であり、気泡キャビテーションの場合では $n = 1$ であることを示す。

第5章においては、この渦キャビテーションが、サブキャビテーション領域からスーパキャビテーション領域へ移行する遷移領域において顕著になるキャビティブレイクダウンに深く関わっていることから、その非定常的挙動を種々の翼形について解明している。

第6章では、実際の遠心ポンプを取り上げ、壊食の発達過程を調べ、壊食は渦キャビテーションに起因することを示した。

第7章では、前章の遠心ポンプの壊食の発達過程を詳細にSEM観察することにより、壊食の発達には、塑性変形ピットが支配的な役割を果たしていることを明らかにした。

第8章では、実機における激しい壊食の予測検知の観点から、前章と同じ遠心ポンプのノイズ、振動加速度およびキャビテーション衝撃圧を解明し、これらによる激しい壊食の発生、発達の検知の可能性を明示した。

第9章は結論である。

以上要するに本論文は、激しいキャビテーション壊食の存在を明示し、その寸法効果に関する流体力学的支配因子としてのキャビテーションのタイプを明らかにしたもので、流体工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。